



TITLE:

平行励起されたマグノンの非平衡状態とカオス(秩序化過程における協力と乱れ-その動力学的研究-(第2回),科研費研究会報告)

AUTHOR(S):

山寄, 比登志

CITATION:

山寄, 比登志. 平行励起されたマグノンの非平衡状態とカオス(秩序化過程における協力と乱れ-その動力学的研究-(第2回),科研費研究会報告). 物性研究 1984, 43(2): 27-30

ISSUE DATE:

1984-11-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/91486>

RIGHT:

マイクロ波の平行励起法によると磁性体中に、ある特定の波数を持ったマグノン熱平衡値を越えて大量に励起することができる。励起を強くするとマグノン数は振動を始め周期倍分岐現象、カオスの発生等が観測される。反強磁性体 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 及び強磁性体 $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{CuCl}_4$ の実験結果について報告する。

強磁性共鳴や反強磁性共鳴では磁気モーメントに垂直方向にマイクロ波振動磁場を加える事によって、波数が零のマグノンが励起される。これに対して平行励起法では磁気モーメントに平行にマイクロ波磁場を加える。磁気モーメントの歳差運動は磁気双極子相互作用やその他の磁気異方性のために通常楕円軌道となっており、磁気モーメントの静磁場に平行な成分は振動している。この振動成分を介して周波数がマイクロ波の半分で、波数が $+k$ と $-k$ のマグノン対つまり定在波が励起される。実験は一定周波数で行うので静磁場を変える事によりマグノンバンドを上下させて励起するマグノン波数を変える事になる。加えるマイクロ波電力が小さい時は熱平衡状態にあるマグノン数に依存するマイクロ波吸収が観測され、低次元磁性体のマグノン状態密度の測定に有力な手段となる。マイクロ波電力を強くすると、ある threshold 以上では緩和より励起されるマグノン数の方が多くなり、かつ、或るマグノンが増大しはじめると非線型効果によりそのマグノンのみが増加する。この現象はマグノンの緩和時間が長く、各モードが孤立している時容易に観測される。この threshold より、マグノン緩和時間を決める事が出来るので多くの緩和過程の研究がなされた。この threshold 以上ではその特定のマグノン強度のみが熱平衡を越えておりピークをなし、その振幅は励起と緩和がバランスして一定

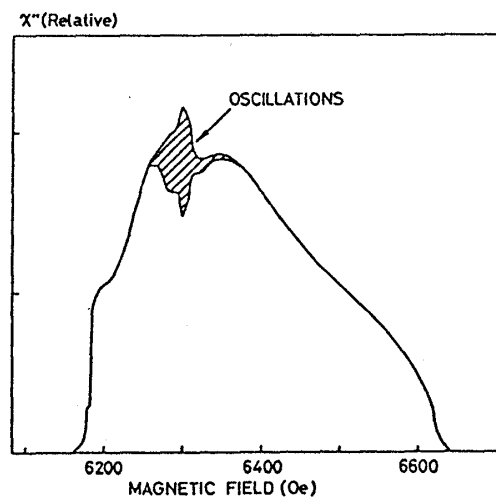


図 1

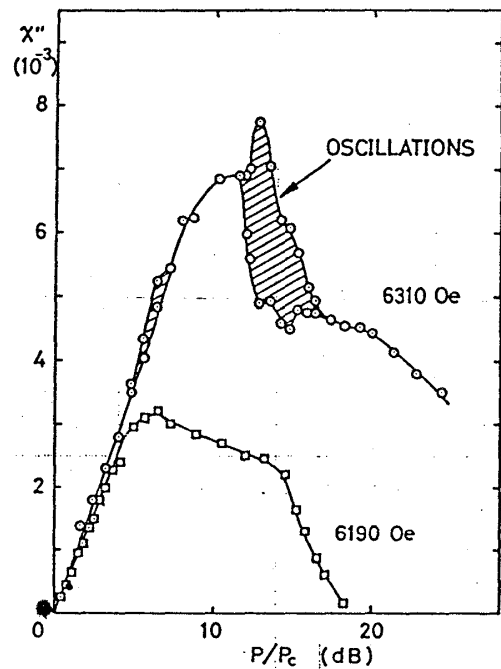


図 2

で非平衡定常状態にある。ところがさらに励起を強くしていくとマグノン強度は振動し、やがてノイズ状態になる事がYIGの実験等で以前から知られている¹⁻³⁾。

最近、中村等⁴⁾は4マグノン緩和過程を取り入れて平行励起マグノンを理論的に計算し、マグノン強度の振動、周期倍分岐、カオスの発生等を数値計算で明らかにした。そこで我々は4マグノン緩和過程が主であると考えられる反強磁性体 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ について実験したところ、マグノン強度の振動と周期倍分岐現象が観測された⁷⁾。実験は周波数8.9 GHz, 温度1.4 K, 最大電力8.8 W, 幅10 μsec のパルスマイクロ波を用いて行った。静磁場及びマイクロ波磁場をスピン容易軸であるa軸に平行に加えたところ図1のように、61800 e と66200 e の間でマグノン励起によるマイクロ波吸収が観測された。励起されているマグノンの波数は61800 e では $k \simeq 0$ で磁場とともに波数は大きくなり、66200 e では $k \simeq 6 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ である。発振現象は63000 e ($k \simeq 3 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$)あたりで見られた。図2に磁場一定の時の χ'' のマイクロ波電力による変化を示す。

マグノン数増大のthreshold より12 dB以上のマイクロ波電力を加えると図3のように強い発振を示し、さらに電力を強くするにつれて図4のように2倍周期の振幅変調を示すようになる。その周波数スペクトルは図5に示すように基本周波数4 MHzの半分のところに大きいピークが見られる。しかしその振幅は時間とともに減衰し消えてしまう。これはマイクロ波電力が大きいためマグノン系の温度上昇により緩和時間が短くなるためではないかと考えられる。このため、カオス状態はまだ観測されていない。一方中村等の理論ではマイクロ波電力を P , threshold を P_c とすると発振の始まりが $P/P_c = 12 \text{ dB}$, 周期倍分岐が基本周期を T とすると各々 $P/P_c = 14.66 \text{ dB}$ ($T \rightarrow 2T$), 14.87 dB ($2T \rightarrow 4T$), 14.908 dB ($4T \rightarrow 8T$), 14.916 dB (8

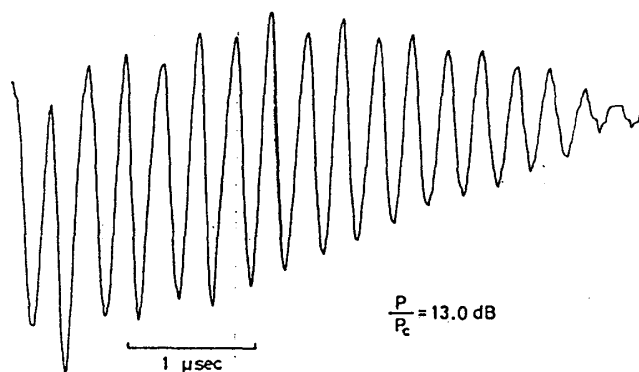


図 3

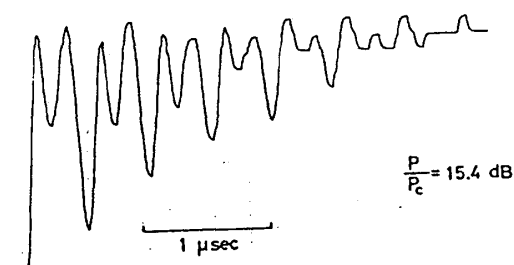


図 4

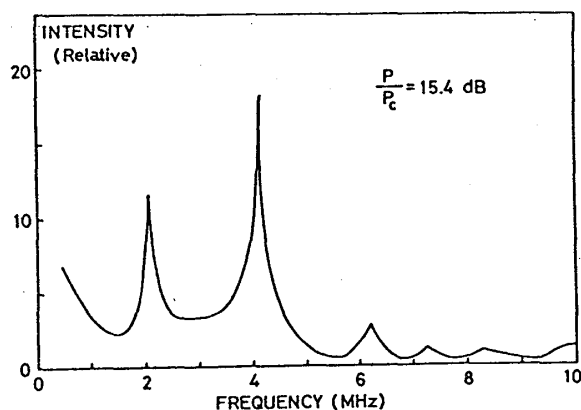


図 5

$T \rightarrow 16\text{ T}$) となっており、この実験では発振の始まりが 12 dB で 2 T 周期の始まりは critical ではないが 14 dB あたりからはっきり認められ、よく一致していると考えられる。

次に、強磁性体 $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{CuCl}_4$ におけるカオスの実験はチューリッヒ大学において、F. Waldner, D. Barberis 等と共同で行った⁹⁾。実験は周波数 9.4 GHz の連続マイクロ波を用いて温度 1.5 K で行った。発振の観測された磁場範囲を図 6 に示すが、磁場が 10200 e より高い範囲の $k \simeq 0$ のマグノンが良く発振し、又発振の始まりは $P/P_c \simeq 2\text{ dB}$ と $\text{CuCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ より非常に低い。従って発振の起こる機構は 4 マグノン過程とは異なると思われる。発振波形は図 7 に示すように基本発振 (a) より、2 倍周期 (b) をへてカオティック (c) と変化し、特にカオティック領域ではごく微小なマイクロ波電力の変化により発振波形は変化する。この図 7 (c) の各ピークの極大値についてローレンツプロットをとって見ると、図 8 のようになりばらつきは多いがピークが見られ相関があるように思われる。他の磁場では発振の始まりからノイズ状となりローレンツプロットにも相関のはっきりしたデータは今のところ得られていない。

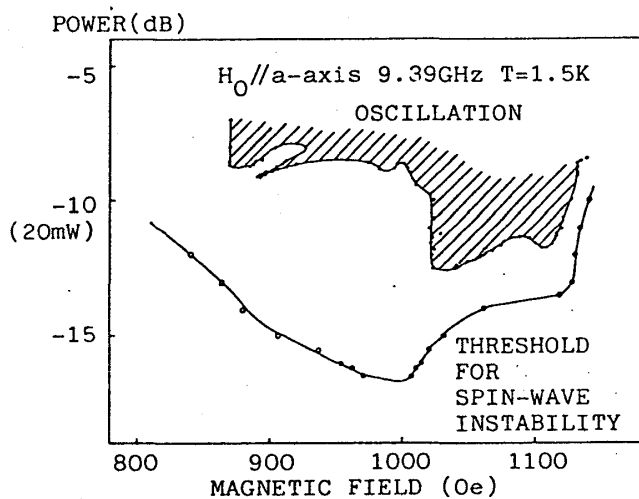


図 6

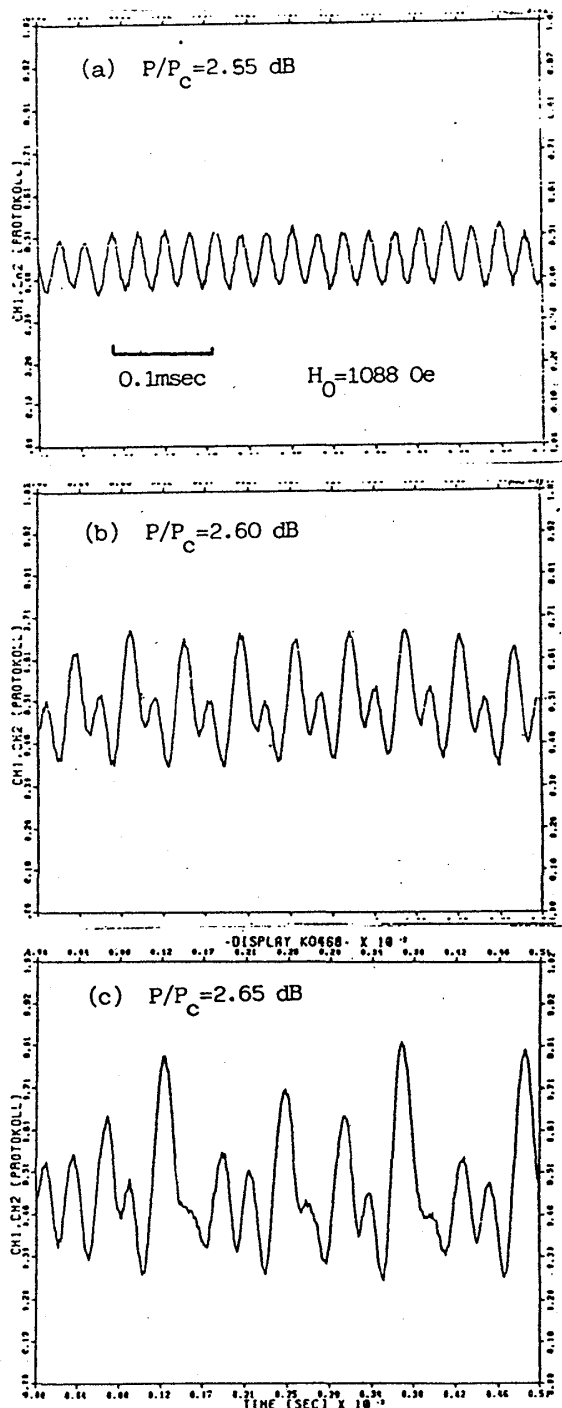


図 7

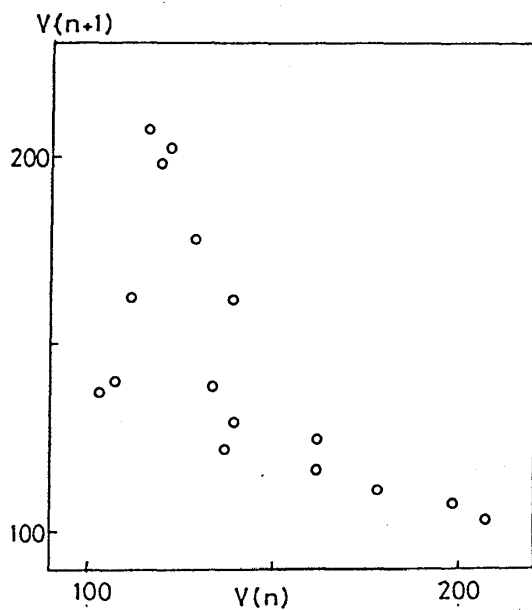


図 8

なお、最近の Gibson と Jeffries の研究によると⁹⁾ YIG の強磁性共鳴の吸収強度が振動し、周期倍分岐、カオス、ウィンドウ等が観測されたとのことであるが、その機構は 2 個の $k=0$ マグノンと 2 個の $k \neq 0$ マグノンの結合 (Suhl の二次の不安定現象) によるものである。

References

- 1) T.S.Hartwick, E.R.Peressini and M.T.Weiss: J.Appl.Phys. 32(1961)223S.
- 2) V.V.Zautkin and S.S.Starobinets: Sov.Phys.-Solid State 16(1974)446.
- 3) V.L.Grankin, V.S.L'vov, V.I.Motorin and S.L.Musher: Sov. Phys.-JETP 54(1981)405.
- 4) K.Nakamura, S.Ohta and K.Kawasaki: J.Phys.C 15(1982)L143.
- 5) K.Nakamura, S.Ohta and K.Kawasaki: J.Phys.Soc.Jpn. 52(1983)Suppl.A147.
- 6) S.Ohta and K.Nakamura: J.Phys.C 16(1983)L605.
- 7) H.Yamazaki: J.Phys.Soc.Jpn. 53(1984)1157.
- 8) H.Yamazaki, D.Barberis and F.Waldner: in preparation.
- 9) G.Gibson and C.Jeffries: preprint.